



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

수의학석사학위논문

대청호 주변 수달의 중금속

노출 모니터링

Monitoring of heavy metal exposure in Eurasian
otters (*Lutra lutra*) from Deachung Lake, Korea

2018 년 8 월

서울대학교 대학원

수의병인생물학 및 예방수의학 (환경위생학) 전공

유 혜 진

대청호 주변 수달의 중금속 노출 모니터링

Monitoring of heavy metal exposure in Eurasian
otters (*Lutra lutra*) from Deachung Lake, Korea

지도교수 류 덕 영

이 논문을 수의학석사학위논문으로 제출함

2018 년 6 월

서울대학교 대학원

수의병인생물학 및 예방수의학 (환경위생학) 전공

유 혜 진

유혜진의 석사학위논문을 인준함

2018 년 7 월

위 원 장 _____ 이 소 영 _____ (인)

부 위 원 장 _____ 류 덕 영 _____ (인)

위 원 _____ 조 성 범 _____ (인)

초록

대청호 주변의 수달의 중금속 노출

모니터링

수달은 한국 야생 생태계에서 먹이사슬의 최상위에 위치하고 있으며, 수환경의 지표종으로 여겨진다. 현재 한국에서는 야생 수달을 천연기념물 제 330 호로 지정하여 보호하고 있다. 이러한 보호 정책에도 불구하고, 개발로 인한 서식지 파괴와 유기 오염물질 및 유해 미량원소들의 유입으로 인한 하천 오염으로 수달의 서식 환경이 크게 위협받고 있다.

본 연구에서는 야생 수달의 중금속 노출에 대한 모니터링을 하고자, 수달이 많이 분포한다고 알려진 대청호를 선정하여 대청댐으로부터 상류 약 67 km 까지의 인근에서 채취된 수달 분변에서 독성 중금속인 수은, 비소, 납, 니켈의 농도를 측정하였다. 분변의 수은, 비소, 납, 니켈의 농도는 각각 $0.14 - 8.35 \mu\text{g/g D.W.}$, $0.25 - 10.30 \mu\text{g/g D.W.}$, $0.02 - 3.66 \mu\text{g/g D.W.}$, $1.29 - 27.90 \mu\text{g/g D.W.}$ 였다. 이 중금속들 중, 수은의 농도는 상류에서 발견된

분변일수록 낮아지는 경향을 보였다. 이 결과는 하천 하류에 서식하고 있는 수달일수록 수은에 노출될 수 있는 기회가 많으며, 하류 수생 생태계의 수은 오염도가 더 높음을 시사한다.

수은은 동물에서 생식 및 번식 능력에 영향을 줄 수 있는 것으로 알려져 있어 수달의 개체 수 감소를 유발할 수 있다. 따라서 하천 하류에 서식하는 수달에 대한 수은의 노출 경로 분석을 위하여, 서식지 주변의 하천수와 먹이가 되는 어류, 양서류 등에 대한 수은 분석 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

주요어: 수달, 분변, 중금속, 수은, 비소, 납, 니켈

학 번: 2016-24212

목 차

초록	i
목차	iii
표 목차	iv
그림 목차	v
서론	1
재료 및 방법.....	7
결과	10
고찰	12
참고 문헌	15
표	21
그림	22
영문초록	28
보충자료	30

표 목차

[표 1] 대청댐으로부터 분변시료 채취 지점의 거리 .21

그림 목차

[그림 1] 대청호 상류의 수달 분변이 채취된 위치...	22
[그림 2] 대청댐 인근에서 채취된 수달 분변의 중금속 농도	23
[그림 3] 수달 분변 채취 장소의 대청댐으로부터의 거리와 수은 농도 간의 상관관계	24
[그림 4] 수달 분변 채취 장소의 대청댐으로부터의 거리와 비소 농도 간의 상관관계	25
[그림 5] 수달 분변 채취 장소의 대청댐으로부터의 거리와 납 농도 간의 상관관계.....	26
[그림 6] 수달 분변 채취 장소의 대청댐으로부터의 거리와 니켈 농도 간의 상관관계	27

서론

수달은 식육목 족제비과에 속하며 정작형 반수생동물로서 수서 생태계의 질서와 먹이사슬을 균형 있게 조절해주는 하천 생물다양성의 조절자 역할을 하는 핵심종(keystone species)이다 [IUCN Otter Action Plan, 1990]. 수달 식이 습성에 관한 연구 결과에 따르면 어류를 가장 선호하고, 그 다음으로 양서류, 곤충, 조류, 갑각류 등을 선호하는 것으로 알려졌다 [차수민, 2001; 남택우, 2004; 이상돈, 2012]. 수달의 배설물은 다른 포유동물과는 다른 특이한 냄새를 가지며 대체로 먹이를 완전히 소화시키지 못한 채 배변되어 조류의 깃털이나 어류의 뼈를 포함하고 있다. 배설물의 크기는 보통 직경은 약 1 cm, 길이는 약 4 - 6 cm 에 이른다. 수달은 주로 하천의 돌출된 바위, 하천 지류의 합류지점 그리고 서식지 주변에 배설하며 [Kruuk, 1995], 수달의 평균 배설물 수와 출현 지역에 대한 관계는 유의적이며 배설물은 수달의 분포를 나타내는 신뢰할 수 있는 척도라는 연구가 있었다 [Mason and Macdonald, 1987]. 이는 수달의 배설물을 연구함으로써, 수달의 건강 상태

모니터링 뿐만 아니라 수달의 서식지 환경에 대한 간접적 모니터링이 가능함을 나타낸다 [Kannan et al., 1999].

수달의 서식지는 다른 육상동물처럼 넓은 면적 단위의 육상영역 위에 서식하는 것이 아니라 한 줄기 강이라는 좁고 길다란 선(line) 단위의 서식영역을 가진다 [Kruuk, 1995]. 이러한 선형 서식권(linear range)을 갖는 수달의 활동영역 특성 때문에 서식지 단절이 쉽게 발생할 수 있고, 번식 및 유전자 확산에도 제한적인 취약성을 가지고 있어 다른 육상포유동물에 비해 낮은 개체군 밀도를 보이는 것이 특징이다.

국제자연보존연맹(IUCN)에 따르면 수달은 세계적으로 총 13 종이 서식하고 있으며, 한국에 서식하는 수달은 유라시안 수달(*Lutra lutra*) 1 종으로 기록되어 있다. 유라시아 수달은 가장 널리 분포하는 수달 종이며 그 거주 범위가 북반구의 스코틀랜드, 폴란드, 독일 등의 유럽지역과 아프리카 및 아시아 전역을 포함한다 [Boucher, 1988; Ruiz-Olmo et al., 2008; Kang et al., 2015]. 유럽에서는 1950년대 이후 유라시아 수달의 개체 수와 거주지가 급격히 감소하였다 [Mason and Macdonald, 2004]. 아시아의 경우, 일본, 파키스탄 동부지역, 인도의 중부지역에서는 유라시아 수달이

이미 멸종된 것으로 보고되어진다 [Ando, 1995; Sasaki, 1995; Conroy et al., 1998]. 일본에서는 1950-1960 년대의 급속한 경제개발에 수반하는 해안 매립, 콘크리트 하천정비 등에 의해 해안 및 하천 지역의 수달 서식지가 사라졌으며, 농약과 공장폐수 등에 의한 수환경의 악화와 양질의 모피를 얻기 위한 수렵으로 개체수가 지속적으로 감소하였다 [Ando, 2007]. 일본 환경부에서는 2012 년 8 월에 이르러 공식적인 일본 수달의 멸종을 선언 하였다.

이러한 유라시안 수달에 대한 멸종의 위협을 막고자, 세계자연보존연맹은 유라시아 수달을 준위협종으로 지정하였다 [Ruiz-Olmo et al., 2008]. 또한 유라시아 수달은 ‘멸종위기에 처한 야생 동·식물 의 국제거래에 관한 협약(Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Flora and Fauna)’에 의해 전세계적으로 보호를 받고 있다 [Foster-Turley et al., 1990; Prigioni et al., 2007]. 한국에서도 1981 년 한국자연보존협회의의 “한국의 희귀 및 멸종위기 동·식물 목록”에 수록되었으며, 1982 년 천연기념물 제 330 호로 지정하였으며, 2005 년에는 환경부에 의하여 멸종위기 야생생물 I 급으로 지정하여 보호하고 있다. 이러한 규제와 보호 덕분에, 유럽의 몇몇 국가에서는 유라시아

수달의 개체 수가 회복되고 그 거주 범위가 확대되었다 [Kruuk, 2006].

그럼에도 유기 오염물질 및 유해 미량원소들의 지속적 유입에 의한 하천 오염과 이로 인한 먹이 자원의 부족 그리고 수중 개발로 인한 생태계의 고립과 서식지 파괴 등의 다양한 요소들이 여전히 유라시아 수달의 개체 수 보존에 부정적 영향을 끼치고 있다 [Kang et al., 2015; Skaren, 1992]. 유기 오염물질과 유해 중금속은 유라시아 수달에 해로운 영향을 미친다. 특히, 중금속은 생체 내에 축적되며, 먹이사슬에 따른 독성물질의 체내 축적 부하량이 크다고 알려져 있다 [Laws, 1993; 조희선, 2005].

수은(mercury; Hg), 비소(arsenic; As), 납(lead; Pb), 니켈(nickel; Ni)의 중금속은 생체에서 독성을 유발하는 치명적인 물질로 보고되어 있다 [ATSDR, 2010]. 이들은 자연에서 대기, 수질, 토양에 존재하면서 먹이사슬로 유입되어 야생동물의 건강을 위협한다 [Garcia et al., 2011]. 수은은 높은 수준에서 뇌, 신장 및 태아 발육에 손상을 줄 수 있으며 신체의 신경계는 모든 형태의 수은에 매우 민감하다 [Redier, 1995; Trasande et al., 2005; Kerper et al., 1992]. 납의 배출은 화석 연료를 태우거나 광업 및 제조업과 같은

인간 활동에서 비롯되며, 신체 내에서 신경계, 적혈구, 심혈관계, 생식기 등에 독성을 가진다 [Landrigan et al., 2000]. 환경에서 비소는 산소, 염소 및 황과 결합하여 무기 비소 화합물을 형성하며 이는 피부암, 폐암, 간암 등을 유발시키는 1 급 발암물질로 규정된다 [Ronald and William, 1982; Cullen and Reimer, 1989; Alloway, 1995; Boffertta, 1993]. 니켈의 만성적 섭취는 근로자들에게서 비강암, 폐암을 유발시킨다 [NAS, 1975; IARC, 1990; Oller and Costa, 1997; Gtimsrud et al., 2003]. 다량의 니켈 흡입은 마우스에서 폐 질환을 일으키고 면역 체계뿐만 아니라 생식과 발육에도 영향을 미친다 [Denkhaus and Sallnikow, 2002; Kerckaert 1996; Diwan et al., 1992].

유라시아 수달의 서식환경을 위협하는 요인 중의 하나인 수계의 중금속의 농도와 수달 내의 중금속 축적에 관한 연구가 수행된 바 있다. 거제에 서식하는 수달의 식이물 중금속 분석에 관한 연구가 있었으며 [조희선, 2005], Kang et al., 2015 은 한국에 서식하는 유라시아 수달의 간, 신장, 폐 조직에서 수은, 납, 비소, 카드뮴의 중금속 농도를 측정하였다.

본 연구에서는 수달이 많이 분포한다고 알려진 대청호를 지리적 대상으로 선정하였다. 대청호는 금강을 따라 위치하는데, 금강은 전라북도 장수군 장수읍에서 발원하여 대청호를 거쳐 전라북도 군산만으로 흘러드는 강이다. 대청호의 하류에 위치한 대청댐(위도 $36^{\circ} 47'$, 경도 $127^{\circ} 48'$)은 금강의 본류를 가로지르는데, 충청북도 청주시와 대전 사이에 위치하고 있다.

대청호에 서식하는 야생 수달의 중금속에 대한 모니터링을 실시하고자 채취한 수달의 분변에서 유해 중금속인 수은, 비소, 납, 니켈의 농도를 측정하였으며, 분변 채취 위치를 바탕으로 한 대청호의 상A 하류의 중금속 오염 정도를 추정해 보고자 하였다.

재료 및 방법

연구지역

대청호 인근에서 수달 배설물 채취는 2016 년 7 월부터 2016 년 12 월까지 6 개월동안 수행되었으며, 70 개 지점에서 채취하였다. 그 지리적 위치는 대청댐에서부터 대청댐의 상류로 약 67 km 떨어진 옥천군과 보은군을 포함하는 지점까지 이다. 각 시료 채취 위치는 GPS 좌표기 (GPSmap 60CSx, GARMIN, Lenexa, KS)를 사용하여 기록하였으며, 각 채취 위치와 대청댐과의 거리는 Measure Distance Map Program (<https://www.freemaptools.com/measure-distance.htm>)을 사용하여 산출하였다 (표 1 과 그림 1). 이때 측정된 거리는 대청호와 하천의 물줄기를 따라 측정하였다.

동결건조

수달의 배설물을 동결 건조기(OPR-FDB-8602, Freeze dryer, Operon Co., Ltd.)를 사용하여 -86℃에서 48 시간 동안 동결 건조하였다.

수은 농도 측정

동결 건조된 수달의 배설물 내 수은 분석은 수은 자동 분석기(DMA-80, Milestone, Italy)를 이용하여 정량 분석하였다. 이때 동결건조 된 시료 약 10-16 mg 를 사용하였다. 분석 시 수은 표준시료 mercury atomic absorption standard solution(Sigma Aldrich, St. Louis, MO)을 사용하여 standard curve 를 작성하였다. 수은의 검출 한계는 0.2 ppb 이며, 동결 건조된 배설물 무게를 기준으로 농도 계산하였다

비소, 납, 니켈 분석

동결 건조된 시료를 질산(Wako, Osaka, Japan)에서 microwave oven(MARS Xpress, CEM, Matthews, NC)을 사용하여 200℃에서 30 분간 산 분해하였다. 증류수로 희석시킨 조직 전처리 용액은 inductively-coupled plasma mass spectrometer(ICP-MS, Varian, Palo Alto, CA)로 분석을 실시하였다. 분석 시 표준시료 Complete Standard-IV-ICPMS-71A(Inorganic Vectors, Christiansburg, VA)를 사용하였다. 검출한계는 비소, 납, 니켈 각각

0.041, 0.059, 0.121 ppb 였다. 동결 건조 조직 무게를 기준으로 농도 계산하였다.

통계

통계학적 분석은 SPSS 22/23/24 통계 프로그램을 이용하였다. 상관관계는 스피어만의 상관관계(Spearman's correlation)를 사용하여 분석하였다. P 값이 0.05 미만인 경우를 통계학적으로 유의한 수준으로 판정하였다.

결과

분변에서의 전(total) 수은 농도

각 분변 시료 내 전 수은의 농도는 보충자료 1 과 같다. 전체 시료 내 농도는 $0.14 - 8.35 \mu\text{g/g of dry weight(D.W.)}$ 의 분포를 보였고, 중앙값(median)은 $1.06 \mu\text{g/g of D.W.}$ 이었다 (그림 2).

분변에서의 전 비소 농도

각 분변 시료 내 전 비소의 농도는 보충자료 2 와 같다. 전체 시료 내 농도는 $0.25 - 10.30 \mu\text{g/g of D.W.}$ 의 분포를 보였고, 중앙값은 $1.18 \mu\text{g/g of D.W.}$ 이었다 (그림 2).

분변에서의 전 납 농도

각 분변 시료 내 전 납의 농도는 보충자료 3 과 같다. 전체 시료 내 농도는 $0.02 - 3.66 \mu\text{g/g of D.W.}$ 의 분포를 보였고, 농도의 중앙값은 $0.37 \mu\text{g/g of D.W.}$ 이었다 (그림 2).

분변에서의 전 니켈 농도

각 분변 시료 내 전 니켈의 농도는 보충자료 4 와 같다. 전체 시료 내 농도는 $1.29 - 27.90 \mu\text{g/g of D.W.}$ 의 분포를 보였고, 중앙값은 $9.95 \mu\text{g/g of D.W.}$ 이었다 (그림 2).

분변 채취 장소의 대청댐으로부터의 거리와 중금속의 농도 간의 상관관계

분변 채취 장소의 대청댐으로부터의 거리와 중금속의 농도 간의 상관관계를 분석하였다. 수은은 대청댐에서 먼 거리에서 채취된 시료가 낮은 수은 농도를 보이는 경향이 있었다 ($P = 0.003$, 그림 3). 비소, 납, 니켈의 경우, 대청댐에서 시료 채취 지점까지의 거리가 이 중금속들의 농도와 의미있는 상관관계를 보이지 않았다 (그림 4 - 6).

고찰

본 연구에서 분석된 수은, 비소, 납, 니켈의 4 가지 중금속들 중, 가장 높은 수준을 보인 것은 니켈이었다 (표 5 와 그림 2). 한국의 거제 지역에 서식하는 수달의 배설물에서 중금속 농도를 분석한 연구의 결과에 따르면 유라시안 수달의 분변에서의 니켈 농도는 $0.31 - 3.18 \mu\text{g/g D.W.}$ 로 나타났다 [조희선, 2005]. 이와 비교하였을 때, 본 연구의 니켈 농도 수준($1.29 - 27.90 \mu\text{g/g}$)은 상당히 높은 결과를 보였다. 높은 니켈 수준의 대한 원인 분석을 위하여, 추후 대청댐 주변 하천, 토양, 어류에서 니켈 수준을 분석해보아야 할 것으로 사료된다.

영국에서 1986 년 보고된 바에 따르면 유라시아 수달(*Lutra lutra*) 분변 500 개 시료에서 수은과 납이 각각 $0.25 - 0.74$ 과 $12.4 - 20.90 \mu\text{g/g D.W.}$ 분석된 바 있다 [Mason and McDonald, 1986]. 영국에서 보고된 연구와 비교하여 볼 때 본 연구에서 수은 농도 수준($0.14 - 8.34 \mu\text{g/g}$)은 다소 높고, 납의 수준($0.02 - 3.56 \mu\text{g/g}$)은 낮은 것으로 판단된다 (표 2 와 표 4).

수은 농도는 대청댐에서 먼 곳에서 발견된 분변 시료일수록 낮아지는 경향을 나타내었다 (그림 3). 이는 대청댐이 상대적으로 하류에 위치한 것을 고려하였을 때, 하천 하류에 서식하고 있는 수달이 수은에 노출될 수 있는 기회가 많으며, 수생 생태계의 수은 오염도가 더 높음을 시사한다. 하천퇴적물의 수은 농도에 대한 연구에 따르면, 수은과 메틸수은의 농도는 공단 배수 지점의 하천퇴적물에서 다른 지점보다 더 높게 조사되었다 [이정섭 외, 2008]. 이는 수달이 수은에 노출된 원인은 사람의 경제활동(예; 산업장)에 의해 생성된 수은이 하천으로 유입되었음을 시사하며, 수달의 주 섭식물인 어류, 양서류 등에 의해 수은이 축적된 것으로 추정할 수 있다. 따라서, 수은의 노출 경로에 대한 분석을 위하여 수달 서식지 주변의 하천수와 어류(메기, 가물치, 미꾸라지), 양서류(개구리) 내 수은 분석 연구가 추후 이루어져야 할 것으로 사료되며, 이를 토대로 하천 하류의 수은 배출원을 규명하여 하천 환경 관리를 할 수 있을 것으로 기대된다.

수은은 비뇨기계, 신경계, 소화기계, 호흡기계, 내분비계에 독성을 나타내며, 당대는 물론이고 후세대에도 심각한 독성을 발현할 수 있다. 특히, 동물에서 유산, 사산, 불임 등을 유발하기도 한다

[Redier, 1995; Trasande et al., 2005; Kerper et al., 1992]. 따라서, 하천 하류에 서식하고 있는 수달의 건강과 생식 및 번식 능력 등에 영향을 줄 가능성이 큰 것으로 사료되며, 나아가 개체 수 감소에도 영향을 줄 수 있을 것으로 추정된다. 추후 수달의 혈액 또는 조직 내 수은 농도를 장기적으로 모니터링할 필요성이 있다.

또한, 본 연구에서는 전 수은의 농도를 측정하였기에 추후 메틸수은을 포함한 유기수은과 무기수은에 대한 분별 분석 (differential analysis)을 수행하여 수은 대사체에 따른 수달의 건강 위해성을 평가할 필요가 있다.

참고 문헌

남택우. 화천군에 서식하는 수달(*Lutra lutra*)의 동절기
식이습성과 서식지 관리. 경남대학교 석사학위 논문. 2004.

신지훈. 수생태계건강성 DB 를 활용한 수달 서식환경 분석에 관한
연구. 계명대학교 석사학위 논문. 2016.

이상돈. 강원도 홍천강 유역에 서식하는 수달의 식이물 분석에
관한 연구. 한국습지학회. 2012. 14: 591-596.

이정섭, 박재성, 강학구, 조재석, 홍은진, 정기택, 차준석, 정광용,
김영희. 하천퇴적물 중의 수은 및 메틸수은 분석 연구.
한국분석과학회지. 2009; 2; 44-50.

이수형. 이매패류를 지표종으로 이용한 해양 환경오염연구.
한국패류학회지. 1994; 10; 24-40.

조희선, 이상돈. 우리나라 거제지역에 서식하는 수달의 식이물
중금속 및 미량원소 분석에 대한 연구. 한국환경생물학회지. 2005;
23; 315-321.

차수민. 섬진강과 남해 일대에 서식하는 수달의 식이습성. 경남대학교 석사학위 논문. 2001.

최인자, 윤충식, 강태선, 양원수, 박동욱, 박두용. 환경 중 납 분석에 관한 국제 정도관리 및 분석 방법 연구. 한국분석과학지. 2002; 15; 381-387.

하정욱. 영산강 수계에 서식하는 수달의 분포 및 서식지 이용에 관한 연구. 인천대학교 석사학위논문. 2015.

한성용. 한국 수달(*Lutra lutra*)의 생태에 관한 연구, 경남대학교대학원 박사학위논문. 1997.

한지현, 권혁준, 이철희. 토양 비소 오염원의 종류가 봉의꼬리의 생육 및 비소 축적에 미치는 영향. 한국자원식물학회지. 2014; 27; 344-353.

Ando M, Sasaki H. Chronology of otter extinction in Japan. IUCN/SSC Asian Otter Specialist Group meeting. 1996.

Boffetta P. Carcinogenicity of trace elements with reference to evaluations made by the International Agency for Research on Cancer. Scand J Work Environ Health. 1993; 19; 67-70.

Cullen WR, Reimer KJ. Arsenic speciation in the environment. Chem Rev. 1989; 89; 713– 764.

Chanin P. The Natural History of Otters. Croom Helm Ltd., Lond & Sdney. 1995.

Enterline PE, Marsh GM. Cancer among workers exposed to arsenic and other substances in a copper smelter. Am J Epidemiol. 1982; 116; 895– 911.

Foster– Turley P, Macdonald S, Mason C. Otters: An Action plan for their conservation. IUCN/SSC Otter Specialist Group. 1990.

Hood RD, Harrison WP. Effects of prenatal arsenite exposure in the hamster. Bull Environ Contam Toxicol. 1982; 29; 671– 678.

IUCN. IUCN Red List of the threatened animals. IUCN Report, Gland, Swiss. 1990.

Järup L, Pershagen G. Arsenic exposure, smoking, and lung cancer in smelter workers—a case-control study. *Am J Epidemiol.* 1991; 15; 545–551.

Kang S, Kang JH, Kim S, Lee SH, Lee S, Yu HJ, Oh SJ, Park JD, Nam KH, Han SY, Lim JD, Ryu DY. Trace element analysis of three tissues from Eurasian otters (*Lutra lutra*) in South Korea. *Ecotoxicology.* 2015; 24; 1064–1072.

Kannan K, Grove RA, Senthilkumar K, Henny CJ, Giesy JP. Butyltin compounds in river otters (*Lutra canadensis*) from the northwestern United States. *Arch Environ Contam Toxicol.* 1999; 36; 462–468.

Kerper LE, Ballatori N, Clarkson TW. Methylmercury transport across the blood–brain barrier by an amino acid carrier. *Am J Physiol.* 1992; 262; 761–765.

Kruuk H. Wild otters: predation and populations. Oxford University Press Oxford. 1995.

Kruuk H, Moorhouse A. Seasonal and spatial differences in food selection by otters (*Lutra lutra*) in Shetland. *J Zool Lond.* 1990; 221: 621–637.

Landrigan PJ, Boffetta P, Apostoli P. The reproductive toxicity and carcinogenicity of lead: a critical review. *Am J Ind Med.* 2000; 38; 231–243.

Laws EA. Aquatic pollution: an introductory text. John Wiley and Sons. Inc. 1993.

Leroyer A, Nisse C, Hemon D, Gruchociak A, Salomez JL, Haguenoer JM. Environmental lead exposure in a population of children in northern France: factors affecting lead burden. *Am J Ind Med.* 2000; 38; 281–289.

Manson CF, Macdonald SM, Aspden VJ. Metals in the freshwater fishes in the United Kingdom 1980–1981. The Vincent Wildlife Trust. London. 1982.

Phillips DJH and Segar DA. Use of bio-indicators in monitoring conservative contaminants: programme design imperatives. *Mar Pollut Bull.* 1986; 17; 10–16.

Ruiz- Olmo J, Loy A, Cianfrani C, Yoxon P, Yoxon G, de Silva PK, Roos A, Bisther M, Hajkova P, Zemanova B. IUCN 2013. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2013.2.

Sasaki H. History of river otters in Japan. Proceedings of Korea- Japan Otter Symposium. 1995.

Todd AC, McNeill FE, Fowler BA. In vivo X- ray fluorescence of lead in bone. Environ Res. 1992; 59; 326- 335.

Tokudome S, Kuratsune M. A cohort study on mortality from cancer and other causes among workers at a metal refinery. Int J Cancer. 1976; 17; 310- 317.

Trasande L, Landrigan PJ, Schechter C. Public health and economic consequences of methyl mercury toxicity to the developing brain. Environ Health Perspect. 2005; 113; 590- 596.

표 1. 대청댐으로부터 분변 시료 채취 지점의 거리.

거리는 대청호와 하천의 물줄기를 따라 측정함.

Sample #	거리 (Km)	Sample #	거리 (Km)	Sample #	거리 (Km)
1	3.33	26	46.39	51	19.86
2	2.86	27	48.88	52	18.39
3	2.03	28	55.34	53	16.06
4	1.57	29	58.48	54	14.35
5	0.21	30	66.76	55	14.06
6	1.42	31	4.83	56	13.18
7	2.38	32	5.40	57	14.22
8	2.77	33	5.80	58	14.33
9	3.28	34	5.96	59	27.66
10	3.06	35	5.50	60	48.68
11	3.62	36	3.95	61	33.91
12	4.21	37	3.38	62	36.64
13	4.48	38	4.63	63	34.24
14	3.91	39	4.95	64	31.75
15	2.62	40	7.24	65	29.71
16	3.29	41	8.10	66	58.03
17	38.78	42	9.28	67	38.44
18	55.20	43	9.59	68	29.79
19	37.51	44	10.10	69	27.53
20	6.37	45	10.81	70	26.16
21	7.02	46	10.42		
22	18.47	47	10.38		
23	39.75	48	8.87		
24	40.10	49	22.74		
25	31.12	50	19.74	기준 : 대청댐	

그림 1. 대청호 상류의 수달 분변이 채취된 위치. 각 번호(1 - 70)로 표시된 위치의 대청댐으로부터의 거리는 표 1 과 같으며, 거리는 대청호와 하천의 물줄기를 따라 측정함.

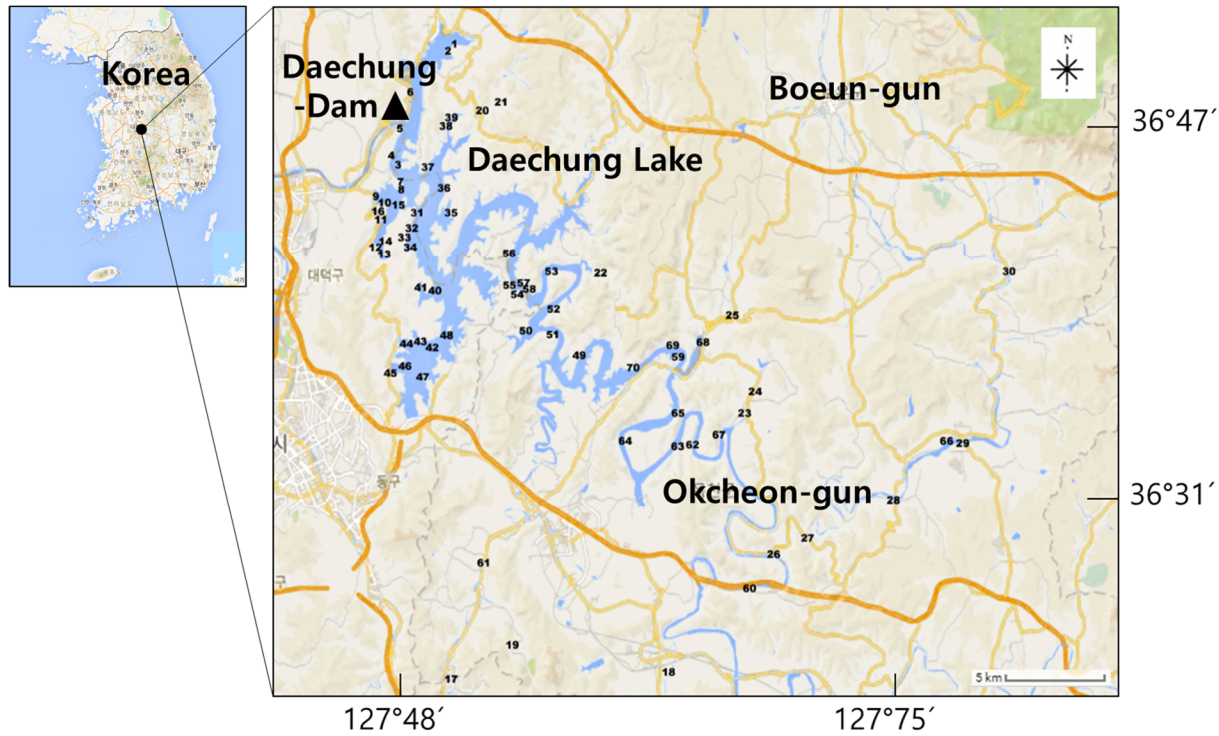


그림 2. 대청댐 인근에서 채취된 수달 분변의 수은(Hg), 비소(As), 납(Pb), 니켈(Ni) 농도. 각 분변 시료의 중금속 농도는 보충자료 1 - 4 와 같음.

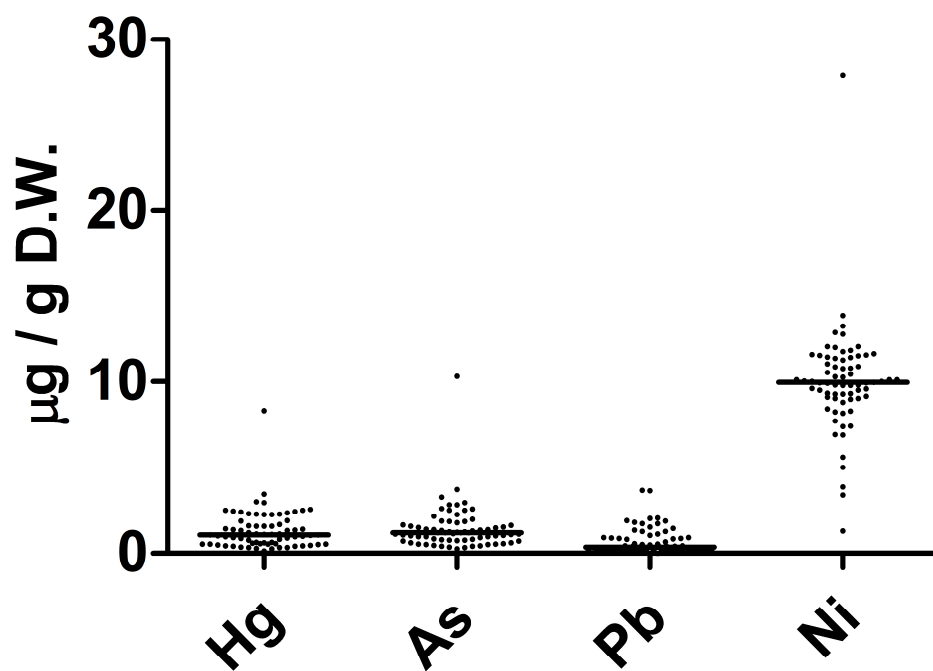


그림 3. 수달 분변 채취 장소의 대청댐으로부터의 거리와

수은 농도 간의 상관관계.

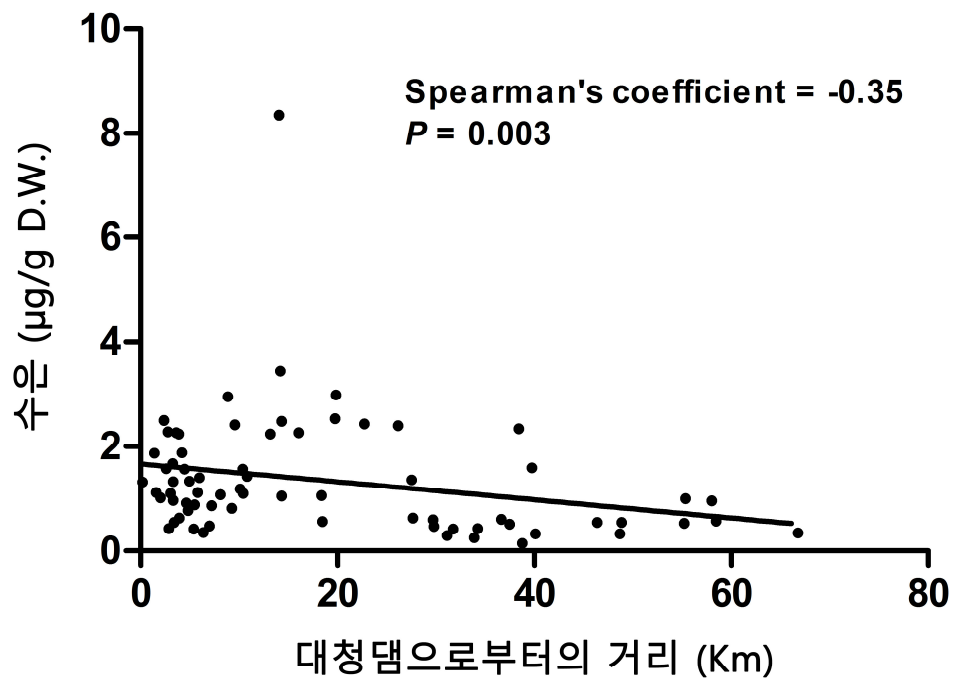


그림 4. 수달 분변 채취 장소의 대청댐으로부터의 거리와

비소 농도 간의 상관관계.

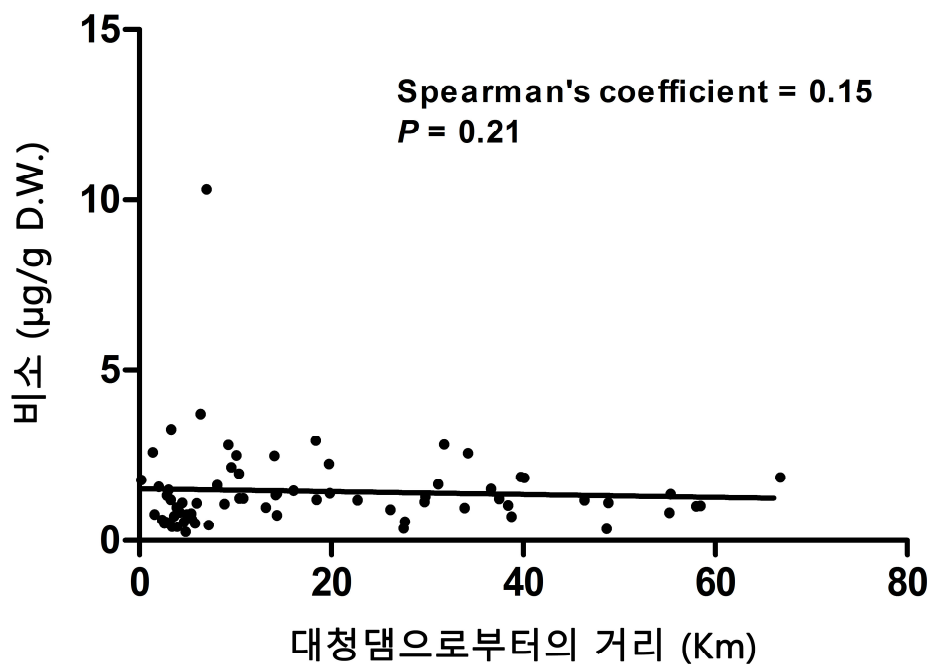


그림 5. 수달 분변 채취 장소의 대청댐으로부터의 거리와
납 농도 간의 상관관계.

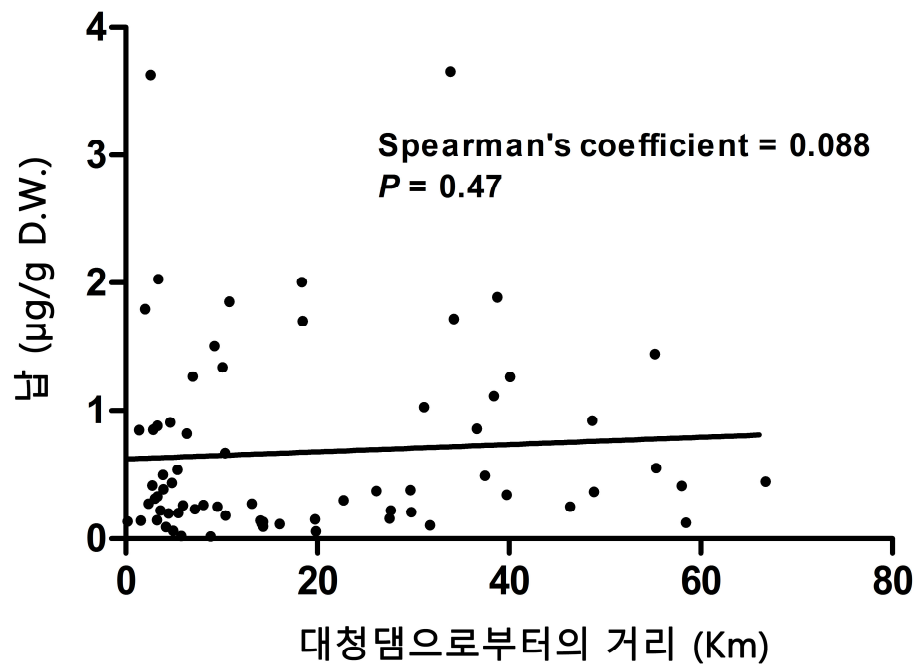
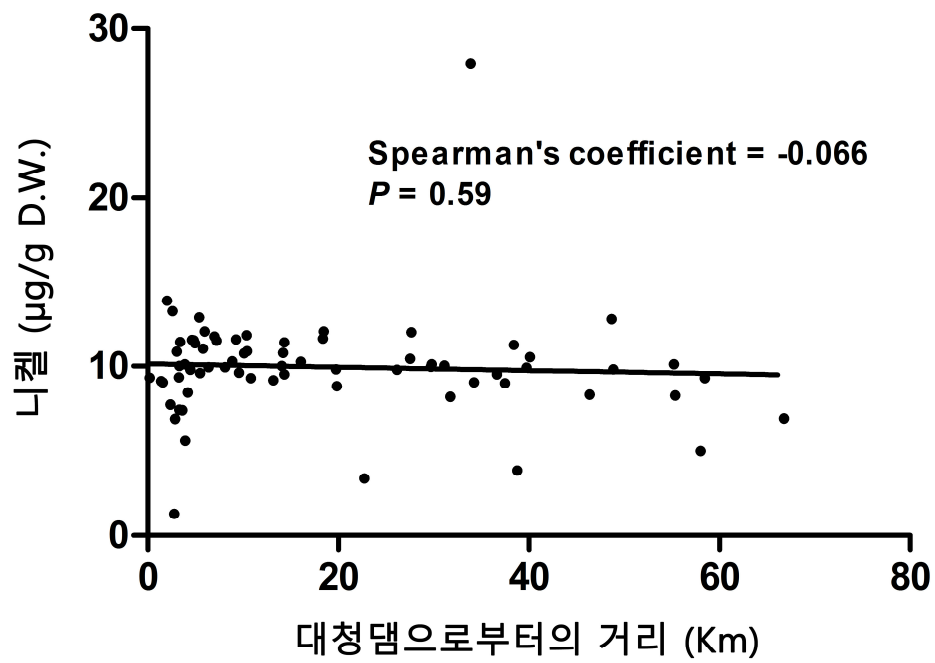


그림 6. 수달 분변 채취 장소의 대청댐으로부터의 거리와
니켈 농도 간의 상관관계.



Abstract

Eurasian otters (*Lutra lutra*), widespread in Korea, are keystone species that indicate aquatic ecosystem. The population of Eurasian otters have been declined in Asian countries. Aquatic contamination by persistent pollutants such as pesticides or heavy metals is blamed to be the causative agent of the decline of Eurasian otter population throughout Korea.

In this study, the concentrations of Hg, As, Pb and Ni were analyzed using feces of Eurasian otter's in order to monitor the habitat environment and the heavy metal exposure in Eurasian otters from Daechung lake. The concentrations of Hg, As, Pb and Ni were 0.14–8.35 µg/g, 0.25–10.30 µg/g, 0.02–3.66 µg/g and 1.29–27.90 µg/g respectively.

Among these heavy metals, the Hg concentration of the fecal sample tended to be lower as the collection locations far from Daechung dam. The result suggests that the otters inhabiting downstream of Daechung lake are more likely to be exposed to Hg than inhabiting upstream. It is estimated that Hg emissions of downstream areas have increased as the economic activities by people such as manufacturing

plants. It is considered that Hg is highly correlated with the decrease in the number of otters because Hg can affect fertility and reproductive ability in animals. Therefore, long-term monitoring of Hg in otter is required for the further study.

Keywords: Eurasian otters, Heavy metals, Hg, As, Pb, Ni, Feces

Student number: 2016-24212

보충 자료

보충자료 1. 각 수달 분변 시료의 전 수은(Hg) 농도. 본 자료는
본문 그림 2 에 그래프로 나타냄.

Sample #	Hg ($\mu\text{g/g}$ of dry weight)	Sample #	Hg ($\mu\text{g/g}$ of dry weight)	Sample #	Hg ($\mu\text{g/g}$ of dry weight)
1	1.3207196	26	0.5491260	51	2.9761343
2	0.4265076	27	0.5440178	52	1.0568763
3	1.0145712	28	0.9995718	53	2.2634766
4	1.1115046	29	0.5695585	54	2.4770537
5	1.3157113	30	0.3448000	55	8.3461328
6	1.8730543	31	0.7678867	56	2.2364255
7	2.4960388	32	0.4227505	57	3.4407192
8	2.2816665	33	1.1119219	58	1.0486195
9	1.6672571	34	1.3981593	59	0.6259476
10	1.0967339	35	0.8775848	60	0.3285801
11	2.2591978	36	0.6322385	61	0.2549711
12	1.8772798	37	0.5453752	62	0.6028756
13	1.5628673	38	0.9090394	63	0.4319020
14	2.2405498	39	1.3284348	64	0.4244554
15	1.5670923	40	0.8607136	65	0.5957269
16	0.9641656	41	1.0686193	66	0.9548651
17	0.1421692	42	0.8086705	67	2.3382280
18	0.5273185	43	2.4102649	68	0.4701659
19	0.5137478	44	1.1772428	69	1.3557041
20	0.3519834	45	1.4211782	70	2.3948223
21	0.4816254	46	1.0946218		
22	0.5644504	47	1.5652977		
23	1.5835260	48	2.9473010	MEDIAN	1.0627478
24	0.3256444	49	2.4308154	MAXIMUM	8.3461328
25	0.2937185	50	2.5306316	MINIMUM	0.1421692

보충자료 2. 각 수달 분변 시료의 전 비소(As) 농도. 본 자료는
본문 그림 2에 그래프로 나타냄.

Sample #	As ($\mu\text{g/g}$ of dry weight)	Sample #	As ($\mu\text{g/g}$ of dry weight)	Sample #	As ($\mu\text{g/g}$ of dry weight)
1	3.267	26	1.186	51	1.378
2	1.314	27	1.106	52	2.935
3	1.568	28	1.352	53	1.462
4	0.773	29	1.015	54	1.373
5	1.769	30	1.847	55	2.486
6	2.587	31	0.251	56	0.968
7	0.609	32	0.796	57	1.336
8	0.541	33	0.501	58	0.749
9	1.195	34	1.091	59	0.552
10	1.479	35	0.621	60	0.340
11	0.713	36	0.412	61	0.960
12	0.828	37	0.405	62	1.501
13	1.104	38	0.544	63	2.562
14	0.969	39	0.765	64	2.824
15	0.508	40	0.459	65	1.127
16	0.449	41	1.617	66	1.005
17	0.709	42	2.812	67	1.032
18	0.821	43	2.145	68	1.286
19	1.217	44	2.494	69	0.356
20	3.707	45	1.225	70	0.907
21	10.308	46	1.225		
22	1.189	47	1.956		
23	1.851	48	1.065	MEDIAN	1.186
24	1.831	49	1.186	MAXIMUM	10.308
25	1.649	50	2.246	MINIMUM	0.251

보충자료 3. 각 수달 분변 시료의 전 납(Pb) 농도. 본 자료는 본문 그림 2 에 그래프로 나타냄.

Sample #	Pb ($\mu\text{g/g}$ of dry weight)	Sample #	Pb ($\mu\text{g/g}$ of dry weight)	Sample #	Pb ($\mu\text{g/g}$ of dry weight)
1	0.332	26	0.251	51	0.057
2	0.852	27	0.367	52	2.005
3	1.798	28	0.554	53	0.115
4	0.140	29	0.125	54	0.131
5	0.134	30	0.448	55	0.141
6	0.848	31	0.437	56	0.274
7	0.275	32	0.543	57	0.119
8	0.417	33	0.021	58	0.096
9	0.144	34	0.262	59	0.221
10	0.315	35	0.203	60	0.921
11	0.223	36	0.389	61	3.656
12	0.092	37	2.029	62	0.859
13	0.198	38	0.907	63	1.721
14	0.502	39	0.063	64	0.104
15	3.627	40	0.233	65	0.383
16	0.881	41	0.264	66	0.415
17	1.889	42	1.508	67	1.115
18	1.444	43	0.251	68	0.210
19	0.495	44	1.342	69	0.160
20	0.822	45	1.854	70	0.376
21	1.267	46	0.180		
22	1.704	47	0.672		
23	0.344	48	0.020	MEDIAN	0.371
24	1.264	49	0.301	MAXIMUM	3.656
25	1.030	50	0.150	MINIMUM	0.020

보충자료 4. 각 수달 분변 시료의 전 니켈(Ni) 농도. 본 자료는
본문 그림 2에 그래프로 나타냄.

Sample #	Ni ($\mu\text{g/g}$ of dry weight)	Sample #	Ni ($\mu\text{g/g}$ of dry weight)	Sample #	Ni ($\mu\text{g/g}$ of dry weight)
1	10.008	26	8.310	51	8.800
2	6.914	27	9.819	52	11.629
3	13.881	28	8.274	53	10.261
4	9.026	29	9.277	54	9.504
5	9.306	30	6.926	55	10.012
6	9.118	31	11.546	56	9.161
7	7.738	32	12.881	57	10.782
8	1.290	33	11.038	58	11.413
9	9.347	34	12.059	59	12.015
10	10.865	35	9.593	60	12.782
11	7.414	36	5.617	61	27.904
12	8.428	37	11.434	62	9.525
13	9.781	38	11.562	63	9.029
14	10.107	39	11.369	64	8.200
15	13.259	40	11.514	65	9.957
16	7.429	41	9.944	66	5.000
17	3.858	42	11.588	67	11.257
18	10.107	43	9.617	68	10.100
19	8.987	44	10.757	69	10.426
20	9.928	45	9.277	70	9.790
21	11.769	46	10.890		
22	12.057	47	11.837		
23	9.909	48	10.283	MEDIAN	9.950
24	10.535	49	3.382	MAXIMUM	27.904
25	10.043	50	9.811	MINIMUM	1.290